

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



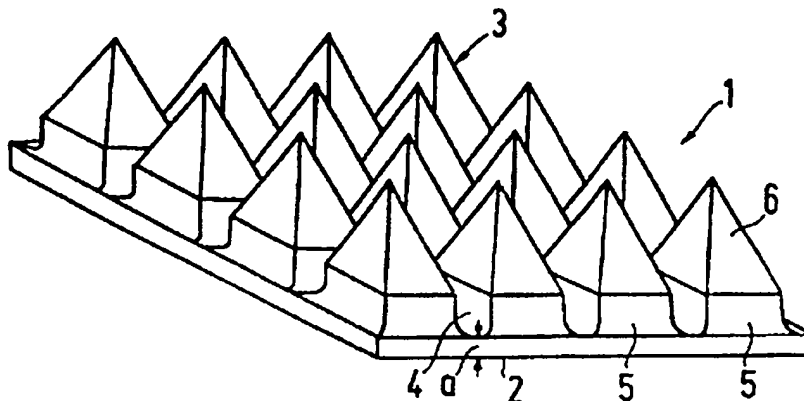
(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>B06B 1/06</b>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 97/16260</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 9. Mai 1997 (09.05.97)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/04754 (22) Internationales Anmeldedatum: 1. November 1996 (01.11.96) (30) Prioritätsdaten: 195 40 697.4                      2. November 1995 (02.11.95)    DE 196 44 676.7                      28. Oktober 1996 (28.10.96)    DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SONIDENT ANSTALT [LU/LI]; Landstrasse 25, FL-9490 Vaduz (LI). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BICZ, Wieslaw [PL/PL]; ul. Siewierska 9/6, PL-52-011 Wrocław (PL). (74) Anwalt: FUNCK-HARTHERZ, Annelore; Hoherodskopfstrasse 41-43, D-60435 Frankfurt am Main (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, KR, PL, RU, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.          Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>

(54) Title: PIEZOELECTRIC ULTRASONIC TRANSDUCER

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHER ULTRASCHALLWANDLER

(57) Abstract

The invention concerns an acoustic transducer for the ultrasonic range, which transducer can be used both as a transmitter and as a receiver. By using a piezoceramic transducer element an extremely flexible transducer which is easy to produce, has a broad band width and ensures technological repeatability can be provided. It has been shown that an acoustic transducer for the ultrasonic range satisfies demands when the front and rear surfaces of the active transducer element which are covered with electrodes.



are structured such that a highly unhomogeneous distribution of the electrical field is attained. In one possible configuration the active transducer element consists of a polarized piezoelectric block on the rear surface of which very deep incisions or grooves are provided, the front and rear surfaces of the block being provided with an electrode covering.

(57) Zusammenfassung

Ein Schallwandler im Ultraschallbereich, der als Sender und auch als Empfänger einsetzbar ist, ist Gegenstand der Erfindung. Bei Verwendung eines piezokeramischen Wandlerelementes soll ein extrem flexibler, leicht herstellbarer Wandler geschaffen werden, der über eine große Bandbreite verfügt und eine technologische Wiederholbarkeit garantiert. Es hat sich gezeigt, daß ein Schallwandler für den Ultraschallbereich die Forderungen dann erfüllt, wenn die mit Elektroden belegte Vorder- und Rückseite des aktiven Wandlerelementes so strukturiert ist, daß eine stark inhomogene Verteilung des elektrischen Feldes erreicht wird. Eine mögliche Ausführung besteht darin, daß das aktive Wandlerelement aus einem polarisierten piezoelektrischen Block besteht, auf dessen hinterer Seite sehr tiefe Einschnitte oder Rillen vorgesehen sind, wobei die Vorder- und Rückseite des Blockes mit einem Elektrodenbelag versehen ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LJ	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LT	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Moldawien	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
FI	Finnland	NL	Niederlande	US	Verenigte Staaten von Amerika
FR	Frankreich	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
GA	Gabon	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
		MW	Malawi		

---

PIEZOELEKTRISCHER ULTRASCHALLWANDLER

---

Die Erfindung bezieht sich auf einen Schallwandler im Ultraschallbereich, der als Sender und auch als Empfänger einsetzbar ist und die Verwendung eines piezokeramischen Wandlerelementes vorsieht.

Der bisher bekannte Wandler enthält eine planparallele aktive Schicht aus Piezomaterial, die von sich aus als Resonanzkörper wirkt, eine oder mehrere Anpassungsschichten an der Seite, auf die der Ultraschall auftrifft und einen Dämpfungskörper, um die Resonanzeigenschaften des Piezomaterials zu senken. Eine solche mehrschichtige Konstruktion ist vielfach beschrieben, und es wurden auch diverse Theorien angegeben, die die Berechnung solcher Wandlertypen ermöglichen. Allerdings verlangen die elektri-

schen Eigenschaften solcher Wandler die Anordnung zusätzlicher Elemente, die den Wandler elektrisch an die Generatoren und Empfangsverstärker anpassen.

Von den Wandlern, die die interne Struktur eines Körpers abbilden sollen (Defektoskopie, Medizintechnik), wird verlangt, daß die kurze und starke Impulse senden können und eine Breitbandigkeit beim Empfang vorhanden ist. Diese Problematik ist in dem Buch von M.G. Silk dargelegt. Es sind daraufhin viele diverse Konstruktionen vorgeschlagen und auch verwirklicht worden, die zu diesem Ziel führen sollen. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Bei einem Vorschlag werden die Piezokeramik- oder Kristallscheiben durch Kompositscheiben aus Keramikstücken in Epoxidharz ersetzt. Diese sogenannten Kompositwandler haben viele Vorteile, verlangen jedoch stets noch Dämpfungsschichten sowie eine elektrische Anpassung. Außerdem sind sie ziemlich teuer in der Herstellung und auch nicht breitbandig genug.
2. Bei einem weiteren Vorschlag werden sehr dünne Piezopolymerfolien herangezogen. Diese Folien haben zwar die Eigenschaft, daß die damit ausgestatteten Wandler eine verhältnismäßig große Breitbandigkeit besitzen, jedoch kann auch hierbei nicht gänzlich auf Dämpfungsschichten verzichtet werden, da die Folien durch ihre Planparallelität Resonantoreigenschaften besitzen. Auch ist die elektrische Anpassung ziemlich schwierig, und die Folienwandler zeichnen sich durch eine geringe Signalamplitude beim Senden aus.
3. Ein weiterer Vorschlag sieht vor, massive Scheiben aus Piezokeramik zu verwenden, die aber mit modifizierten Ober-

flächen ausgestaltet sind. In dem US-Patent 3 968 680 werden Wandler vorgeschlagen, die Piezoscheiben mit nicht parallelen Wänden enthalten. Wandler mit nicht parallelen Flächen der Keramikscheiben sind auch in anderen Publikationen erwähnt, so z.B. in dem Artikel von P.G. Barthe und P.J. Benekeser "A Staircase Model of Tapered Piezoelectric Transducer". Abgedruckt ist dieser Artikel in IEEE Ultrasonic Symposium 1987. Untersuchungen haben gezeigt, daß solche Wandler eine relativ gute Breitbandigkeit besitzen und auch kurze Impulse produzieren können. Die von ihnen abgegebenen Signale sind jedoch relativ schwach und auch die Breitbandigkeit ist für viele Fälle trotzdem nicht ausreichend.

Eine weitere Konstruktion mit einem Wandler aus einer rauhen hinteren Oberfläche der Piezoscheibe wird in dem EP 0 634 227 beschrieben. Eine weitere Wandlerausführung mit strukturierter Rückseite ist in der EP 6 029 994 beschrieben worden. Bei dieser Ausführung ist die Rückseite des Wandlers mit flachen Rillen strukturiert, wobei die Stärke der Piezoscheibe unterhalb des Rillenbodens um ein Mehrfaches größer ist als die Rillentiefe (vgl. Sp 10 12). Ausserdem ist eine weitere Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit dieses Wandlers, daß das elektrische Feld im Bereich des verbliebenen Materials homogen ist (Spalte 12 und Sp. 6). Das verbliebene Material funktioniert dabei als aktives Element; der Rillenbereich wirkt nur als Dämpfung und erlaubt den Verzicht auf eine Rückdämpfung. Der Wandler gemäß der letztgenannten europäischen Patentschrift erzeugt auch einen relativ langen Impuls, wie in Fig. 8 dargestellt ist. Diese Eigenschaft wird als nachteilig betrachtet. Zwar sind bei dieser Ausführung die Probleme, die die Klebeschicht verursacht beseitigt, aber die lange Impulsantwort

bewirkt, daß dieser Wandler nicht für alle Zwecke einsetzbar ist.

Die Erfindung hat sich nun die Aufgabe gestellt, einen leicht herstellbaren extrem flexiblen Wandler für den Ultraschallbereich zu schaffen, der über eine große Bandbreite verfügt, eine technologische Wiederholbarkeit aufweist und mit einer starken Intensität arbeitet. Darüber hinaus soll eine gute Übertragungsfunktion, also eine kurze Impulsantwort, gewährleistet sein und die Amplitude als auch die Phase in einem breiten Frequenzspektrum einen flachen Verlauf haben.

Alle die genannten Forderungen werden mit einem Schallwandler gemäß Anspruch 1 erfüllt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß Schallwandler, dessen Aktivelement aus einem polarisierten piezoelektrischen Block besteht, dessen hintere Fläche keine glatte Oberfläche, sondern eine stark modifizierte Struktur besitzt, einen extrem kurzen Schallimpuls produziert und auf Anpassungsschichten und mechanische Dämpfung verzichten kann. Es wurde überraschenderweise festgestellt, daß sich als Struktur insbesondere die Anordnung von tiefen Rillen oder Einschnitten in der hinteren Seite des polarisierten piezoelektrischen Blockes, wobei die Vorderseite und die Rückseite des Blockes mit einem Elektrodenbelag versehen ist. Die Materialstärke zwischen dem Rollenboden und der Vorderseite des Wandlermentes muß sehr gering gehalten sein, so daß dieser Bereich nun eine elektrische Isolierfunktion bewirkt. Die Bereiche zwischen den Rillen bilden Erhebungen, die in Spitzen auslaufen. Als besonders geeignet haben sich kegel- oder pyramidenförmig auslaufende Erhebungen erwiesen. Mit den erfindungsgemäßen Wandlern können extrem kurze Schallimpulse produziert werden und es kann auf Anpassungsschichten und mechanische

*pulse operation*

Dämpfung verzichtet werden. Nicht nötig ist auch dabei die elektrische Anpassung, da die Impedanz nur ca. 50 Ohm beträgt. Die Polarisationsrichtung des Wandlerelementes ist zwar prinzipiell in einem Winkel von ca. 90° zur Sende-  
fläche, jedoch hat das elektrische Feld im Wandler eine komplizierte Form, da fast die gesamte hintere Aktivelementfläche mit einem Belag versehen ist, der als Elektrode dient, wobei nur der Boden der Einschnitte nicht mit einer Elektrode bedeckt werden muß. Die vordere Wandlerwand ist, wie üblich, glatt und mit einer flachen Elektrode bedeckt. Sie muß aber nicht eben sein, sondern kann sich auch gekrümmt verhalten, z.B. um die räumliche Gestaltung des Impulses modifizieren zu können, den der Wandler produziert.

Mit dem Wandler gemäß der Erfindung kann ein Impuls von ca. 20 ns-Länge gesendet werden. Der Wandler besitzt eine relativ flache Übertragungsfunktion der Amplitude und Phase im gesamten Ultraschallbereich. Seine Signalamplitude und Empfindlichkeit lassen sich durchaus mit den in dieser Hinsicht hervorragenden Kompositwandlern vergleichen. Der Wandler benötigt jedoch keinerlei elektrische Anpassung und ist erheblich einfacher herzustellen als alle zum Stand der Technik genannten Wandlertypen. Es ist auch leicht, die Wiederholbarkeit seiner Eigenschaften zu gewährleisten, da sie fast allein von der Präzision der Bearbeitung abhängig sind.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden anhand der Zeichnungen erläutert.

Dabei zeigen:

Fig. 1 eine graphische Darstellung des Laufverlaufes,

- Fig. 2 das piezokeramische Wandlerelement in einer möglichen erfinderischen Ausgestaltung,  
Fig. 3 ein rundes Wandlerelement für einen kleinen Schallwandler,  
Fig. 4 eine Modifikation des Wandlers gemäß Fig. 3,  
Fig. 5 das piezoelektrische Wandlerelement gemäß Fig. 2 mit eingezeichneten Elektroden,  
Fig. 6 einen Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Schallwandler,  
Fig. 7 die Verbindung des Wandlerelementes mit einem Festkörper,  
Fig. 8 den Spannungsverlauf des erfindungsgemäßen Schallwandler,  
Fig. 9 eine Generatorschaltung und Empfängerschaltung für den Schallwandler gemäß der Erfindung.

Die graphische Darstellung der Fig. 1 zeigt die Kürze des mit der erfindungsgemäßen Konstruktion erreichten Impulses.

In Fig. 2 ist eine mögliche erfindungsgemäße Ausbildung des Wandlerelementes 1 dargestellt. Der Wandlerblock besteht aus polarisierter Piezokeramik. Die Polarisationsrichtung des Wandlerblockes verläuft in einem Winkel von  $90^\circ$  zur Sende- und Empfangsfläche. Wie aus der Zeichnung ersichtlich, ist nach Strukturieren die Vorderseite 2 - also die mit Ultraschallwellen beaufschlagte Seite - des Wandlerelementes 1 weiterhin eben, während die Rückseite 3 stark strukturiert ist. In die Rückseite sind sehr tiefe Rillen 4 eingebracht. Die Bereiche zwischen den Rillen 4 sind Erhebungen, die in dem Ausführungsbeispiel aus einem Block 5 bestehen,

*Polarisierung  $90^\circ$   
to bottom  
of block*



der in Form einer Pyramide 6 ausläuft. In der gezeichneten Form verlaufen die Rillen parallel, was nicht erforderlich ist, denn diese können jeden beliebigen Verlauf haben; sie müssen nur sehr tief gehalten sein. Auch die Pyramidenform der Erhebungen ist nicht zwingend.

In den Figuren 3 und 4 sind runde an ihrer Rückseite strukturierte Blöcke als Wandler-elemente 7 und 8 gezeigt. Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 ist rund und trägt eine Mittenvertiefung 9 und eine spitz zu- und umlaufende Wand 10. Das Wandler-element 8 gemäß Fig. 4 zeigt eine runde Rille 11 mit einer in der Mitte angeordneten Pyramide oder Kegel 12. Die spitz zulaufende Wand 13 ist jenseites der Rille 11 angeordnet.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, auch auf einem Wandler-element mit eckiger Grundfläche Rillen und Erhebungen gemäß der Fig. 3 und 4, also eine konzentrische Strukturierung, nebeneinander anzuordnen.

Allen Ausführungen gemeinsam ist das Merkmal, daß die Stärke  $a$  zwischen Rillenboden und der Vorderseite des Wandler-elementes sehr gering gehalten ist. Dieser Bereich hat nur eine elektrische Isolierfunktion. In der Praxis hat sich eine Konstruktion bewährt, wobei die Stärke a ca. 0,05 mm bei einer Rillenbreite von ca. 0,1 mm beträgt und einer Breite der Erhebungen von ca. 0,5 mm, sowie deren Höhe von 1 mm.

Die Fig. 5 zeigt eine Belegung des Wandler-elementes 1 gemäß Fig. 2 mit Elektroden. Die Elektrode an der Vorderseite ist mit 14 bezeichnet, während die Elektrode der Rück-

17- }  
15- } *best*

seite 15 sich über alle Erhebungen zieht, wie die Schraffierung, die die Elektrode der Rückseite kenntlich macht, zeigt. Die Elektrode 15 der Rückseite muß nicht den Boden der Rillen überziehen.

Maßgebend für die Wirkungsweise der Wandler ist das durch die Strukturierung gegebene elektrische Feld, das inhomogen sein muß. Dieses elektrische Feld hat eine komplizierte Form, da die Elektrode die gesamte hintere Aktivelementfläche bedeckt. Die vordere bei Sendung schallabstrahlende Wand ist eben und mit einer flachen Elektrode 14 versehen. Die Vorderseite des Wandlerelementes muß nicht eben, sie kann auch gekrümmt sein, um die räumliche Gestaltung des Impulses modifizieren zu können, die der Wandler produziert.

Falls die vordere Fläche nicht eben, sondern gekrümmt ist, müssen die Rillen der Rückseite dieser Tatsache angepaßt sein.

Die Funktion des erfindungsgemäßen Wandlers wird durch das Zusammenspiel der stark inhomogenen elektrischen Feldes mit den Longitudinar- und Schereffekten im Bereich der Erhebungen zwischen den Rillen erhalten. Die Erfindung geht dabei davon aus, daß das elektrische Feld in dem aktiven Bereich des Wandlers stark modifiziert, also inhomogen sein muß. Diese Tatsache vermittelt eine extreme Breitbandigkeit und bringt wesentliche energetische Vorteile. Es hat sich experimentell gezeigt, daß die Wandler mit konzentrischen Strukturen ein stärkeres Signal als vergleichbare Wandler mit flachen Wänden erzeugen. Dadurch ist es möglich, auch sehr kleine Wandler nach dem erfindungsgemäßen Vorschlag mit einem Durchmesser von weniger als 0,5 mm herzustellen, die noch verwertbare Signale liefern.

Außerdem wurde festgestellt, daß durch Änderung der Verteilung des elektrischen Feldes die abgestrahlte Welle beeinflusst werden kann. So hat sich vorteilhaft gezeigt, daß bei der Konstruktion gemäß Fig. 2 und Fig. 5 des Wandlerelementes die Welle eine ebene Wellenfront aufweist, die sich wesentlich von der Wellenfront eines bekannten Wandlers mit flachen oder leicht modifizierter Vorder- und Rückseite unterscheidet. Eine Strukturierung in Form eines konzentrischen Ringes produziert eine sphärische Welle. Die Erfindung eröffnet somit auch eine Gestaltungsmöglichkeit der austretenden Welle durch eine vorbestimmte Verteilung des elektrischen Feldes.

Ein Schallwandler 16 gemäß der Erfindung ist im Längsschnitt in Fig. 6 gezeigt. Das Wandlerelement 17 ist dabei gemäß Fig. 5 ausgebildet und sitzt am oberen Ende des Gehäuses 18. Der elektrische Anschluß erfolgt über das Kabel 19, das eine Verbindung zu beiden Elektroden darstellt. Der Innenraum des Gehäuses 18 ist mit einer Vergußmasse 20 mit niedriger akustischer Impedanz ausgefüllt. Zum Schutz des Wandlerelementes 17 ist dieses mit einer Schutzschicht 21 versehen, die auf der senkrechten Gehäusewandung aufliegt.

Fig. 7 zeigt im Prinzip die Anordnung des in Vergußmasse 22 eingebetteten Wandlerelementes 23, wobei die Vergußmasse 22 eine niedrige akustische Impedanz besitzt. Die Vergußmasse 22 mit dem Wandlerelement 23 ist auf dem Festkörper 24 aufgeklebt. Die Elektrodenanschlüsse des Wandlerelementes sind mit 25 und 26 bezeichnet.

Es hat sich gezeigt, daß es zweckmäßig ist zum Erhalt des in Fig. 8 gezeigten Spannungsverlaufes, den Wandler entsprechend in Fig. 9 gezeigten Richtung anzuregen.

Gemäß dieser Schaltung wird die gewünschte elektrische Spannung langsam zwischen den Elektroden des Wandlers aufgebaut und dann die Elektroden des Wandlers kurzfristig kurzgeschlossen und zwar mit einem Schaltelement, das beim Kurzschluß nur wenige Ohm Impedanz besitzt. Es hat sich gezeigt, daß die Aufbauzeit in mehr als 4 Mikrosekunden und der Kurzschluß in kurzer Zeit mindestens 30 ns erfolgen soll, um optimale Bedingungen zu erhalten. Der Kurzschluß des Piezoelementes erlaubt die Maximierung der Impulsamplitude und verhindert die Nachschwingung des Systems. Durch Änderung der Kurzschlußzeit läßt sich in gewissen Grenzen die Länge des Impulses steuern.

## Patentansprüche

1. Schallwandler für den Ultraschallbereich, der sowohl als Sender als auch als Empfänger einsetzbar ist unter Verwendung eines piezokeramischen Wandlerelementes, dadurch gekennzeichnet, daß die mit Elektroden belegte Vorder- und Rückseite des aktiven Wandler-Elements so strukturiert ist, daß eine stark inhomogene Verteilung des elektrischen Feldes erfolgt.
2. Schallwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Wandlerelement aus einem polarisierten piezoelektrischen Block besteht, auf dessen hinterer Seite sehr tiefe Einschnitte oder Rillen vorgesehen sind, wobei die Vorderseite und Rückseite des Blockes mit einem Elektrodenbelag versehen ist.
3. Schallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwände der Rillen mit einem Elektrodenbelag versehen sind.

4. Schallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
da durch gekennzeichnet,  
daß die Rillen parallel zueinander verlaufen, sich kreuzen, Kurven bilden oder in jedem beliebigen Muster zueinander verlaufen.
5. Schallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
da durch gekennzeichnet,  
daß die vordere Fläche des Wandlerblockes eben oder gekrümmt glatt ist, wobei außer der Elektrode noch eine Schutzschicht aufgebracht ist.
6. Schallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
da durch gekennzeichnet,  
daß die Materialstärke des Blockes am Boden der Rillen so gering wie möglich bemessen ist.
7. Schallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
da durch gekennzeichnet,  
daß die Bereiche zwischen den Rillen Erhebungen bilden.
8. Schallwandler nach Anspruch 7,  
da durch gekennzeichnet,  
daß die Erhebungen etwa 3 bis 8 mal so breit wie die Rillen selbst und mehr als 5 mal höher als die Rillbreite bemessen sind.

- 13 -

9. Schallwandler nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Erhebungen spitz zulaufend ausgebildet sind.
10. Schallwandler nach Anspruch 7 oder 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Erhebungen zwischen den Rillen in Form einzel-  
ner Kegel oder Pyramiden auslaufen.
11. Schallwandler nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Erhebungen zwischen den Rillen im unteren Be-  
reich Blöcke bilden, die kegel- oder pyramidenförmig  
auslaufen.
12. Schallwandler nach Ansprüchen 7, 8, 9, 10 oder 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Erhebungen in Form parallel angeordneter Linien  
verlaufen, sich kreuzen, Kurven bilden, konzentrisch  
verlaufen oder einzelne Ringe bilden oder zufällig ver-  
teilt sind.
13. Schallwandler nach einem oder mehreren der vorher-  
gehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Wandlerblock im Querschnitt rund bemessen ist  
und eine Mittenvertiefung vorgesehen ist, die von einer  
spitz zulaufenden erhabenen Wand umgeben ist.

- 14 -

14. Schwallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Wandlerblock im Querschnitt rund oder oval bemessen ist und die Rillen Kreise oder Kurven bilden zwischen denen spitz zulaufende erhabene Wände vorgesehen sind.
15. Schwallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das aktive Wandlerelement in einem Material mit niedriger akustischer Impedanz eingebettet und mit elektrischen Anschlüssen an den Elektroden versehen und in einem Gehäuse gefaßt ist.
16. Schallwandler nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das aktive Wandlerelement auf einem Festkörper aufgeklebt ist.
17. Verfahren zur Anregung eines Schallwandlers, insbesondere eines Schallwandlers nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Wandler zunächst langsam innerhalb mehrerer Mikrosekunden unter die gewünschte Spannung gesetzt wird, um ihn dann sehr schnell in wenigen Nanosekunden mit einer möglichst geringen Impedanz kurzzuschließen.



1/5

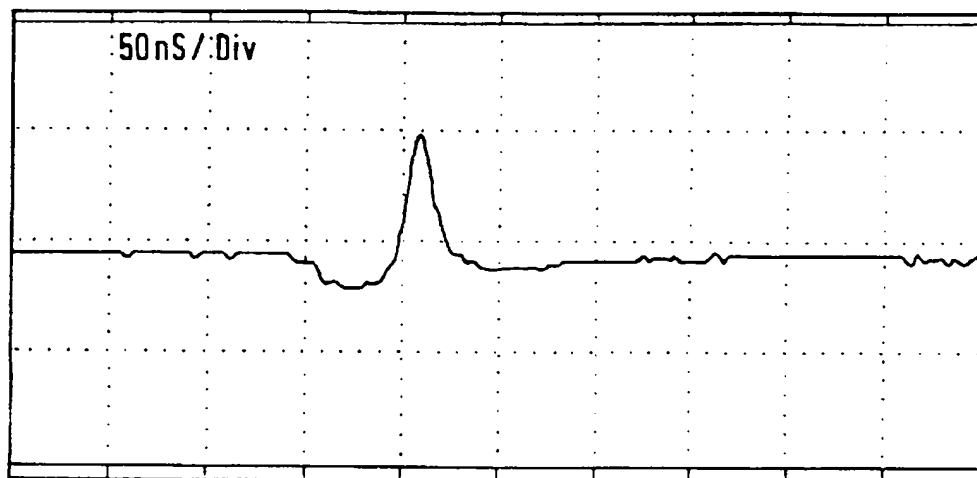


Fig. 1

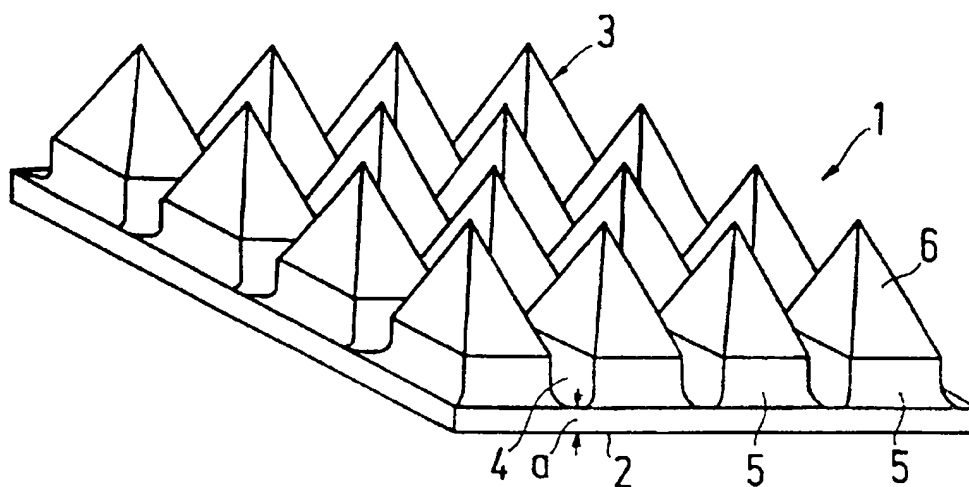
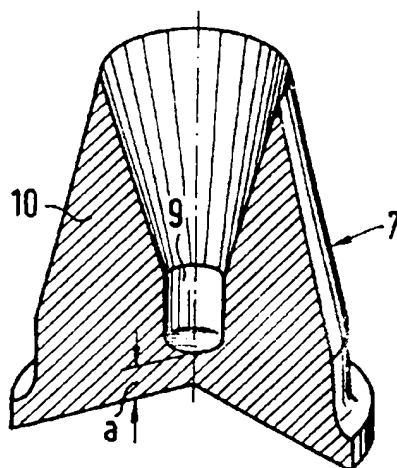


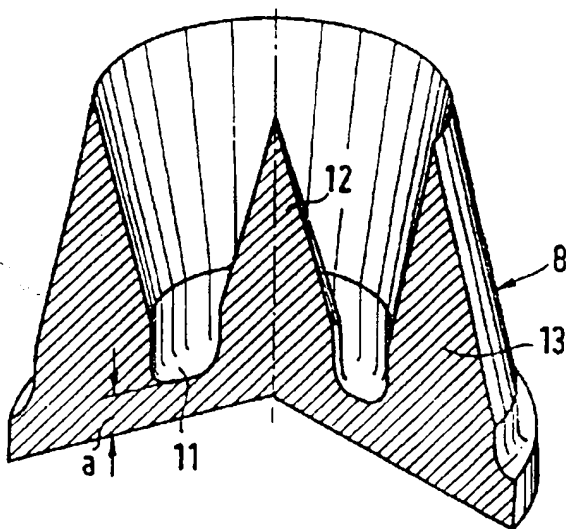
Fig. 2

ERSATZBLATT (REGEL 26)

2/5



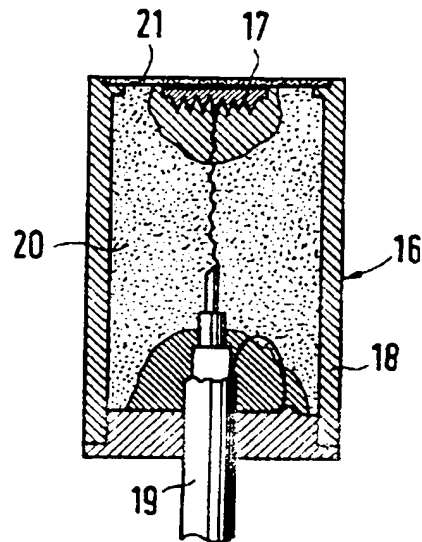
**Fig. 3**



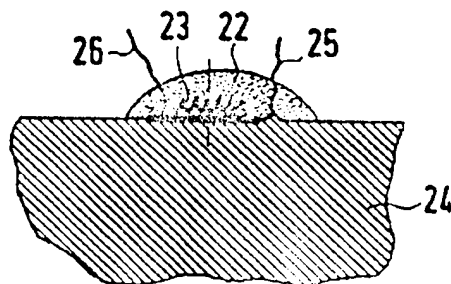
**Fig. 4**

ERSATZBLATT (REGEL 26)

3/5



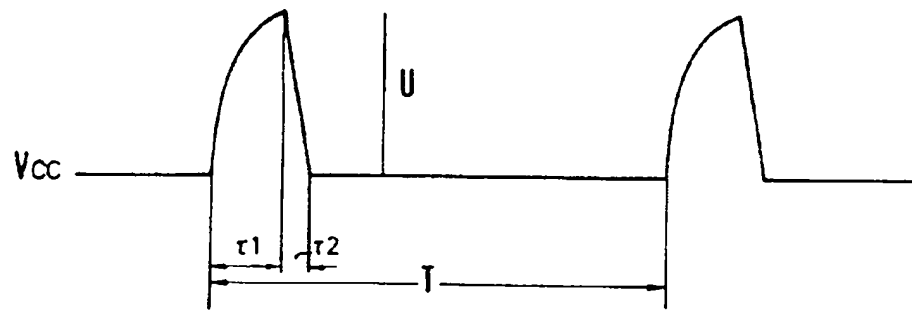
**Fig. 6**



**Fig. 7**

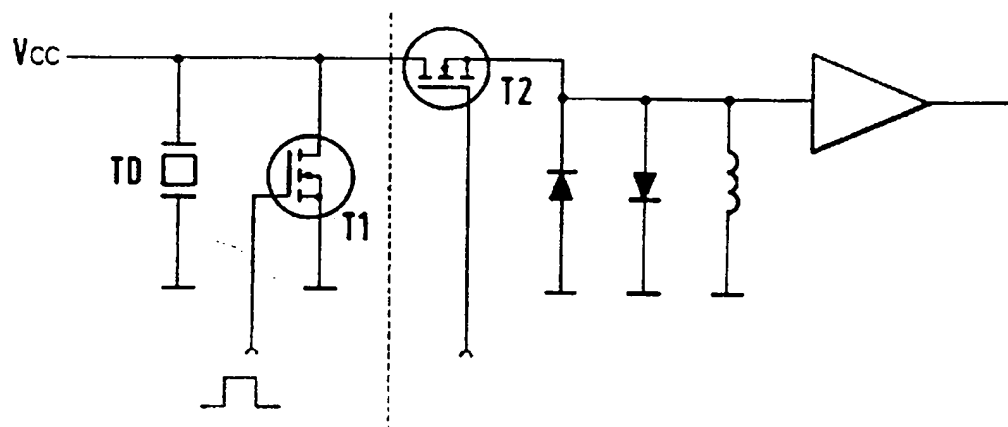
ERSATZBLATT (REGEL 26)

4/5



$T = 1\text{ms}$   
 $\tau_1 = 4\mu\text{s}$   
 $\tau_2 = 30\text{ns}$   
 $U = 50 \div 400\text{V}$

Spannungsverlauf

**Fig. 8**

Generatorschaltung

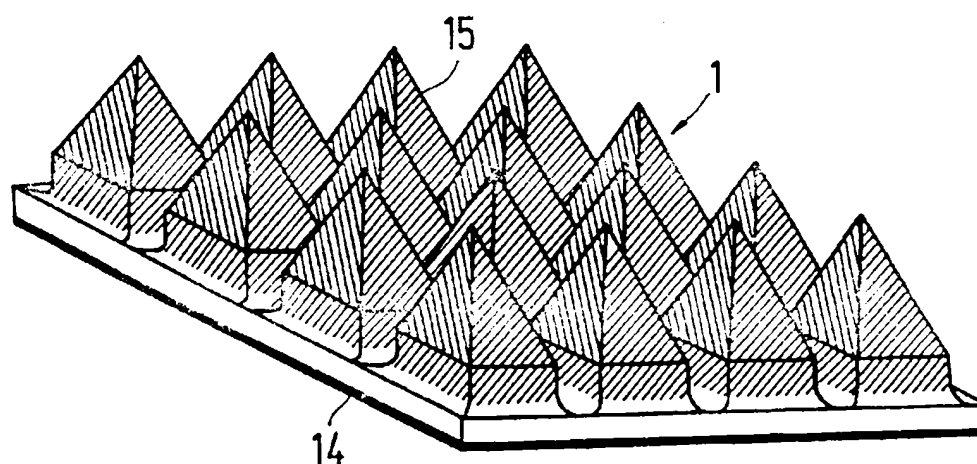
Empfängerschaltung

**Fig. 9**

ERSATZBLATT (REGEL 26)

05/20/2003, EAST Version: 1.03.0002

5/5



***Fig. 5***

ERSATZBLATT (REGEL 26)

05/20/2003, EAST Version: 1.03.0002

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP 96/04754

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 B06B1/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 B06B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
A	EP 0 436 809 A (WOLF GMBH RICHARD) 17 July 1991 see column 4, line 21 - line 25; claim 7; figure 7 ---	1
A	DATABASE WPI Week 7850 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 78-k9623a XP002027649 & SU 590 662 A (KUAN POLY) , 20 February 1978 see abstract --- -/--	1-4,7, 11,12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*A\* document member of the same patent family

Date of international search

17 March 1997

Date of mailing of the international search report

26.03.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Anderson, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Publication No  
PCT/EP 96/04754

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DATABASE WPI Week 3477 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 77-h0426y XP002027650 &amp; SU 539 265 A (KUAN POLY) , 17 December 1976 see abstract</p>	1
A	<p>--- SOVIET JOURNAL OF NONDESTRUCTIVE TESTING, vol. 15, no. 10, October 1979, USA, pages 890-894, XP002027647 R.I. YU KAZHIS ET AL: "Experimental study of piezoelectric transducers with a nonuniform electric field" see page 891, line 6 - line 7; figures 1,2</p>	1
A	<p>--- SOVIET PHYSICS ACOUSTICS, vol. 22, no. 2, March 1976, NEW YORK, USA, pages 167-168, XP002027648 R.I. KAZHIS ET AL: "Wideband piezoelectric transducers with an inhomogeneous electric field" see page 167, column 1, line 17 - line 25; figures 1,2</p>	1
A	<p>--- US 3 968 680 A (VOPILKIN ALEXELI KHARITONOVICH ET AL) 13 July 1976 cited in the application</p>	
A	<p>--- JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 89, no. 3, 1 March 1991, pages 1434-1442, XP000200884 BARTHE P G ET AL: "A STAIRCASE MODEL OF TAPERED-THICKNESS PIEZOELECTRIC CERAMICS" cited in the application</p>	
A	<p>--- EP 0 634 227 A (GEN ELECTRIC) 18 January 1995 cited in the application</p>	
A	<p>--- EP 0 629 994 A (HEWLETT PACKARD CO) 21 December 1994 cited in the application</p>	
A	<p>--- US 4 945 898 A (PELL JAMES W ET AL) 7 August 1990 see column 10, line 54 - column 12, line 25; figures 8-10</p>	17
	-----	

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP 96/04754

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0436809 A	17-07-91	DE 4000362 A	11-07-91
		US 5101133 A	31-03-92
US 3968680 A	13-07-76	GB 1505411 A	30-03-78
EP 0634227 A	18-01-95	JP 7154897 A	16-06-95
EP 0629994 A	21-12-94	US 5392259 A	21-02-95
		DE 69401099 D	23-01-97
		JP 7030997 A	31-01-95
		US 5553035 A	03-09-96
US 4945898 A	07-08-90	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

05/20/2003, EAST Version: 1.03.0002